Journal of Agroecology
Vol. 13, No.2, Summer 2021, p. 251-270

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۲۷۰-۲۵۱

مقاله علمی - پژوهشی

اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی صفات فیزیولوژی و عملکردی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تنش خشکی در خاک شور

مهدی امیریوسفی[۱]، محمودرضا تدین[۲*] و رحیم ابراهیمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳

امیریوسفی، م.، تدین، م.، و ابراهیمی، ر.، ۱۴۰۰. اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی صفات فیزیولوژی و عملکردی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت تنش خشکی در خاک شور. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۲): ۲۷۰-۲۵۱.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا *Chenopodium quinoa* (Willd.) تحت رژیم‌های کم‌آبی در خاک شور، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در منطقه دستگرد اصفهان انجام شد. در این آزمایش چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح کود زیستی (شاهد، نیتروکسین، بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر) و دو سطح کود شیمیایی (عدم کاربرد و کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر) به‌عنوان عوامل فرعی مورد مطالعه قرارگرفت. میانگین حجم آب مصرفی در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به‌ترتیب ۴۲۰۴/۱، ۳۴۲۷/۲، ۲۶۶۵/۶ و ۲۱۸۴/۸ مترمکعب در هکتار بود. تیمارهای کود شیمیایی نیز بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی توسط آزمایشگاه، به‌مقدار ۲۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۷۵ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار اعمال شدند. نتایج نشان داد که در تمامی تیمارهای کودی، افزایش سطوح تنش خشکی موجب کاهش کلیه صفات اندازه‌گیری شده (شامل میزان کلروفیل کل، شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت) در کینوا گردید. با این وجود، کلیه صفات اندازه‌گیری شده تحت تیمار کاربرد کودهای شیمیایی در مقایسه با شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی افزایش معنی‌داری داشت. به‌نحوی که بیشترین عملکرد دانه (۲۲۲۵/۳۸ کیلوگرم در هکتار) و بالاترین درصد شاخص برداشت (۴۱/۱۲ درصد) کینوا در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی و آبیاری مطلوب (تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) حاصل شد و شرایط تنش شدید خشکی (تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه)، عملکرد دانه و شاخص برداشت این گیاه را به‌ترتیب حدود ۸۸ و ۳۶ درصد نسبت به شرایط آبیاری مطلوب با تیمار کودی مشابه (کاربرد کودهای شیمیایی) کاهش داد. از طرفی، در سطوح مختلف تنش، استفاده هم‌زمان از کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تأثیر را بر تعدیل اثرات تنش خشکی و افزایش معنی‌دار کلیه صفات مورد بررسی داشت. به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید خشکی و کاربرد کودهای شیمیایی، تیمار کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر ، میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه کینوا را به‌ترتیب حدود ۳۲، ۳۵، ۳۶ و ۱۵ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی در همان سطح خشکی افزایش داد. نتایج در مجموع نشان داد که با وجود شوری خاک محل آزمایش، گیاه کینوا حتی در سطح آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (تنش شدید خشکی)، دوره رشد خود را کامل کرده و بذر تولید کرد که نشان‌دهنده مقاومت بالای کینوا به شرایط تنش‌های شدید محیطی است.

واژه‌های کلیدی: تاج خروس، بیوفسفر، تنش اسمزی، شاخص برداشت، نیتروکسین

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهر کرد، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهر کرد، ایران.
۳- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهر کرد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Mrtadayon@yahoo.com)

Doi: 10.22067/jag.v13i2.79212

مقدمه

در حال حاضر کشاورزی عمده ترین مصرف‌کننده منابع آب جهان و در نتیجه، آسیب‌پذیرترین بخش از بحران کم‌آبی است، از این رو، مهم‌ترین مشکلی که امنیت غذایی کشور و جهان را تهدید می‌کند، کمبود منابع آب مناسب می‌باشد (Habibzade et al., 2015). به‌نحوی که نیاز به غذای بیشتر و محدودیت منابع آب، بشر را به‌سمت اعمال مدیریت کم‌آبیاری سوق داده است. علاوه‌براین در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان که به کم‌آبی مبتلا هستند مشکل شوری نیز وجود دارد، به همین دلیل در این مناطق گیاهان اغلب به‌طور همزمان تحت تأثیر هر دو تنش شوری و کم‌آبی قرار دارند (Hoseini et al., 2018).

با توجه به شرایط خشک‌سالی‌های ممتد در کشور و کمبود منابع آبی و در پی آن شوری منابع آب و خاک، تولید برخی از گیاهان زراعی و باغی مرسوم در مناطق خشک کشور با محدودیت‌های زیادی از نظر تأمین آب برای رشد آن‌ها مواجه شده است و این موضوع موجب کاهش عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی در این مناطق شده است. از این‌رو، معرفی گیاهان جدید و با پتانسیل عملکرد بالا که هم از نظر زراعی در شرایط خشک و شور عملکرد مناسبی داشته باشند و هم محصول تولیدی، از کیفیت بالایی برخوردار باشد، در دستور کار وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته است (Hoseini et al., 2018).

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd.، گیاهی یکساله از خانواده تاج خروس (*Amaranthaceae*) و با خاستگاه آمریکای لاتین است. این گیاه با وجود ارزش غذایی بالا، مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، شوری و سرما از خود نشان داده است و قابلیت رشد در زمین‌های حاشیه‌ای را دارد (Prager et al., 2018). در برخی منابع گزارش شده است گیاه کینوا به‌دلیل تحمل نسبتاً بالای به تنش‌های خشکی و شوری (Adolf et al., 2013)، تنوع ژنتیکی بالا و تطابق‌پذیری به اقلیم‌های مختلف (Basra et al., 2014) و کارایی بالای استفاده از منابع آب (Prager et al., 2018)، می‌تواند گیاه مناسبی برای استفاده از منابع آب محدود و خاک‌های بسیار شور باشد. از نظر ارزش غذایی نیز دانه کینوا که محصول اصلی این گیاه است، بین ۱۴ تا ۲۰ درصد پروتئین (حدود دو برابر دانه گندم (*Triticum aestivum*) دارد و سرشار از اسید آمینه‌های ضروری مانند لیزین و متیونین است که در بیشتر گیاهان غله‌ای، به‌میزان کمی وجود دارند (Iqbal et al., 2018). ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا موجب مقایسه آن با شیر خشک توسط سازمان خواروبار جهانی شده است (GordilloBastidas et al., 2016). مجموع این عوامل سبب شده که سطح زیر کشت کینوا به‌عنوان یک گیاه مناسب در راستای دستیابی به سیاست‌های جهانی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد، به‌نحوی که سطح زیر کشت جهانی این گیاه از ۳۶ هزار هکتار در سال ۱۹۸۰ به ۲۰۰ هزار هکتار در سال ۲۰۱۷ گزارش شده است (Kaoutar et al., 2017). کینوا به‌صورت گسترده در آفریقا و آمریکای جنوبی کشت می‌شود و در ایران هم‌چنان به‌صورت گیاهی ناشناخته باقی مانده است؛ البته در سال‌های اخیر تلاش‌هایی در زمینه تحقیقات در مورد این گیاه در کشور انجام شده است، به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۲ کشت آزمایشی کینوا برای نخستین‌بار در گرگان صورت گرفت. در سال ۱۳۹۶ کینوا در ۲۴ هکتار حدود ۲۰ استان کشور از جمله خراسان، قم، اصفهان و یزد کشت شد (Tavousi & Lotf-Ali, 2018).

گیاهان برای رشد و تولید محصول علاوه‌بر آب، به عناصر غذایی نیز وابسته هستند. نیتروژن و فسفر عناصر کلیدی در تغذیه گیاهان به حساب می‌آیند و به‌عنوان یک جزء اصلی در ساختمان تعدادی مولکول‌های زنده از قبیل پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، ویتأمین‌ها و رنگیزه‌ها نقش اساسی در گیاهان ایفا می‌کنند (Hassegawa et al., 2008). میزان مصرف جهانی کودهای شیمیایی در سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۲۰۶ میلیون تن تخمین زده شده است که در حدود ۶۳ درصد آن کودهای نیتروژنه می‌باشند. به‌علاوه بیش از ۶۶ درصد این کودها در کشورهای در حال توسعه و ۵۳ درصد از این میزان در آسیا به مصرف می‌رسد. در ایران نیز تولید کودهای شیمیایی که از سال ۱۳۲۴ آغاز شد با الگوی مشابه با سایر کشورهای در حال توسعه از اواخر دهه ۵۰ شمسی به‌سرعت توسعه یافت، به‌طوری‌که در حال حاضر هرساله بیش از ۴/۴ میلیون تن کود شیمیایی در کشور مصرف می‌شود که در مقایسه با رقم ۲/۲ میلیون تنی در سال ۱۳۷۵ افزایشی حدود ۱۰۰ درصدی را نشان می‌دهد (Koocheki et al., 2008).

زمانی‌که آب مصرفی از طریق آبیاری کمتر از مقدار نیاز آبی گیاه زراعی باشد، استفاده از کود بر مبنای آبیاری کامل باعث هدررفت

کود، افزایش شوری خاک و افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود (Nasir Khan et al., 2019). از طرفی، هنگام استفاده از کودهای شیمیایی در ابتدای فصل زراعی، ممکن است بخشی از فرم شیمیایی قابل استفاده عناصر برای گیاه به فرم‌های دیگر تبدیل شود و یا از طریق آبشویی از دسترس گیاه خارج گردند که این موضوع افزایش شوری زمین‌های زراعی و آلودگی منابع آب را به همراه دارد (Nasir Khan et al., 2019). بنابراین، جهت افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، روش‌های مصرف کود باید به‌گونه‌ای تغییر کند که مواد غذایی مورد نیاز گیاه در طول یک مدت طولانی و بدون تلفات در اختیار گیاه قرار گیرد (Kalayu, 2019).

استفاده از کودهای زیستی حل‌کننده فسفر و تثبیت‌کننده نیتروژن، از جمله روش‌های عملیات زراعی بهینه است که می‌تواند به جذب بهینه عناصر غذایی توسط گیاه کمک کند و موجب کاهش شوری خاک و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی شود (Stamenkovic et al., 2018). کود زیستی نیتروکسین از طریق بهبود مواد آلی و فعالیت بیولوژیک خاک و عرضه عناصر غذایی، موجب افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌گردد (Sabbagh et al., 2017). کود زیستی بیوفسفر نیز با ترشح اسید فسفاتاز سبب افزایش حلالیت فسفر نامحلول می‌شوند (Kocabas et al., 2010). کودهای زیستی بیش از یک نقش کارکردی دارند، یعنی علاوه‌بر کمک به جذب عنصری خاص، باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، تحریک بیشتر رشد گیاه، افزایش کمی و کیفی گیاه زراعی و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شوند (Stamenkovic et al., 2018).

تلاهیگو و همکاران (Telahigue et al., 2017) با بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر ارقام گیاه کینوا گزارش کردند که وزن هزار دانه، عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام کینوا تحت تأثیر تنش خشکی تا سطح معنی‌داری کاهش یافت. گونزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2009) نیز گزارش کردند که در سطوح بالای تنش خشکی میزان پرولین در کینوا به‌طور معنی‌داری افزایش و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. در برخی منابع کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری معرفی شده است (Adolf et al., 2013)، به نحوی که تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد گیاه کینوا ناچیز (غیر معنی‌دار) گزارش شده است (Pulvento et al., 2012). در مطالعه‌ای تیمار کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم کود شیمیایی اوره موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کینوا نسبت به شاهد شده است (Basra et al., 2012). در پژوهشی دیگر، نشان داده شد که کاربرد توأم منابع مختلف کود آلی شامل ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گاوی ۱/۲۴ درصد نیتروژن و۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کمپوست علف دریا هشت درصد نیتروژن موجب افزایش ۳۹ درصدی عملکرد دانه کینوا نسبت به شاهد شده است (Bilalis et al., 2012). به‌طور کلی، گزارش شده است که تیمار کاربرد توأم کودهای زیستی نیتروژن و فسفر از طریق عرضه به‌موقع و بهبود جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، نقش مؤثری در افزایش مناسب ویژگی‌های رشد رویشی نظیر ارتفاع بوته و تعداد خوشه در مترمربع گیاه کینوا ایفا می‌کند، هم‌چنین به‌واسطه تسهیل جذب فسفر و افزایش تعداد دانه در خوشه در مجموع، باعث افزایش عملکرد دانه در این گیاه می‌شود (Gomaa, 2013).هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه کینوا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در خاک شور بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در منطقه دستگرد (برخوار) اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه و ارتفاع ۱۵۷۲ متری از سطح دریای آزاد در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. برپایه طبقه‌بندی کوپن این منطقه دارای اقلیم بیابانی با تابستان بسیار گرم است. متوسط بارندگی، دما و تبخیر و تعرق سالانه آن به‌ترتیب ۱۳۵ میلی‌متر، ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

سطوح آبیاری شامل ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب کود زیستی در چهار سطح شاهد (بدون کود زیستی)، نیتروکسین، بیوفسفر و تلفیق نیتروکسین و بیوفسفر و کود شیمیایی در دو سطح عدم کاربرد و کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. کودهای زیستی نیتروکسین (حاوی

غلظت‌های مختلف از باکتری‌های *ازتوباکتر*[1]، *آزوسپیریلوم*[2] و باکتری‌های محرک رشد) و بیوفسفر (شامل دو نوع باکتری حل کننده فسفر از گونه‌های *باسیلوس*[3] و *سودوموناس*[4])، از شرکت زیست فناوری فرزانگان خریداری شده و بر اساس توصیه شرکت سازنده (مصرف یک لیتر در هکتار)، هنگام کشت به‌صورت بذرمال مصرف گردیدند. مطالعات در مورد نیازکودی کینوا بسیار محدود است، با این وجود مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، بدون اینکه کاهش کارایی مصرف کود را به‌همراه داشته باشد، موجب بهبود عملکرد کینوا شده است (Geren, 2015). بر این اساس و بر مبنای نتایج آزمون خاک و توصیه کودی توسط آزمایشگاه (جدول ۱)، تیمارهای کود شیمیایی به‌مقدار ۲۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۷۵ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار اعمال شدند. لازم به ذکر است که تمامی کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل و ۵۰ درصد کود نیتروژن قبل از کاشت به زمین اضافه شد. ۵۰ درصد باقیمانده کود نیتروژنه نیز قبل از گل‌دهی به‌کار رفت (Geren, 2015). همچنین جهت سنجش دقیق اثر عناصر غذایی مورد آزمایش، قبل از کاشت به همه کرت‌ها بر اساس آزمون خاک و توصیه آزمایشگاه، سایر عناصر و کودهای توصیه شده شامل: ۱- عنصر روی به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کودی سولفات روی ۲- معادل ۲۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده شده اضافه شد.

نیاز آبی گیاه کینوا برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه ۳۴۸ تا ۵۴۴ میلی‌لیتر برآورد شده شده است. ضریب گیاهی کینوا نیز در مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب ۰/۵۲، ۱ و ۰/۷۰ گزارش شده است (Garcia et al., 2003). بر این اساس و با توجه به اینکه مراحل زایشی یعنی تشکیل گل‌آذین تا پرشدن دانه، حساس‌ترین مراحل به خشکی در کینوا گزارش شده است (Hinojosa et al., 2018)، در این پژوهش، تنش خشکی (تیمارهای رژیم رطوبتی) با توجه به مراحل رشد فنولوژی کینوا، بر اساس مقیاس کدگذاری BBCH[5]، از مرحله ۰-۴: (مرحله نمو قطعات رویشی قابل برداشت[6]) یعنی مرحله‌ای از نمو کینوا که همزمان با طویل شدن ساقه و قبل از ظهور خوشه اتفاق می‌افتد. در واقع پس از نمو برگ پرچم، غلاف این برگ و پدانکل طویل شده و خوشه توسعه یافته از آن خارج می‌شود. در مقیاس BBCH این مرحله با طویل شدن برگ پرچم شروع و هنگامی کامل می‌شود که خوشه قابل مشاهده شود)، اعمال شد. برای این منظور، ابتدا جهت تعیین درصد رطوبت وزنی خاک مزرعه در شرایط ظرفیت زراعی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از تکرارهای هر آزمایش نمونه‌برداری شد و با استفاده از دستگاه صفحه فشاری تحت مکش ۰/۳ اتمسفر قرار داده شد. بر این اساس، درصد رطوبت وزنی در شرایط ظرفیت زراعی مزرعه ۲۹ درصد تعیین شد. همچنین به‌منظور تعیین دقیق زمان آبیاری، در هر تیمار پس از گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری، اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) شد. نمونه‌های برداشت شده بلافاصله توزین و جهت تعیین درصد رطوبت وزنی خاک، در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشکانده شدند. آبیاری برای تیمارهای ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه زمانی انجام می‌شد که رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر به‌ترتیب به ۲۱/۷۵، ۱۴/۵ و ۷/۲۵ درصد رسیده بود. حجم آب مصرفی مورد نیاز هر تیمار نیز از معادله ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2008).

معادله (۱)

$$V= (FC- \Theta_m)\, \rho_b \times D_{Root} \times A / E_i$$

در این معادله،V: حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب، FC: درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، Θ_m: درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبی، ρ_b: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، D_{Root}: عمق توسعه ریشه بر حسب متر، A: مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع و E_i: کارایی آب مصرفی می‌باشند. بدین ترتیب، میانگین حجم آب مصرفی در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به‌ترتیب ۴۲۰۴/۱، ۳۴۲۷/۲، ۲۶۶۵/۶ و ۲۱۸۴/۸ مترمکعب در هکتار بود که بر اساس کارآیی توزیع آب ۹۰ درصد با استفاده از پمپ و کنتور به‌صورت یکنواخت توزیع گردید.

ابعاد کرت‌ها در این پژوهش ۱/۸×۶ متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها (تکرارها) دو متر در نظر گرفته شد و هر یک از کرت شامل شش خط کاشت به‌طول شش متر بودند.

1- *Azotobacter*
2- *Azesprolium*
3- *Bacillus*
4- *Pseudomonas*
5- Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt und Chemische Industrie scale
6- Principal growth stage 4: development of harvestable vegetative parts

عملیات کاشت در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ماه به‌روش خشکه‌کاری و با دست انجام شد. بذرها در هر خط کاشت با فاصله حدود ۱۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر در عمق تقریبی ۲-۱ سانتی‌متر کشت گردیدند به نحوی که تراکم بوته‌ای معادل ۳۳ بوته در مترمربع ایجاد شد (Basra et al., 2014). عملیات برداشت نیز در تاریخ ۲۲ شهریور و با دست صورت گرفت. لازم به ذکر است که خطوط ۱ و ۶ و نیم متر از هر طرف به‌عنوان حاشیه، خطوط ۲ و ۳ جهت سطح نمونه‌برداری و خطوط ۴ و ۵ به‌مساحت پنج مترمربع جهت سطح برداشت در نظر گرفته شد. به‌منظور سنجش حداکثر شاخص سطح برگ در زمان گل‌دهی پس از حذف یک متر حاشیه از بالا و پایین هر خط کشت سه بوته به‌طور تصادفی جدا و با عکس‌برداری و استفاده از نرم‌افزار Image Processor نسخه ۳/۰ مساحت برگ‌ها اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ که بیان‌کننده سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است، از نسبت سطح برگ هر بوته به سطح زمینی که توسط آن اشغال شده است، محاسبه شد (Biglouie et al., 2008). برای سنجش میزان کلروفیل، ابتدا ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ توزین شد، سپس در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و پس از صاف کردن به لوله آزمایش منتقل و با استفاده از اسپکتروفتومتری VIS-UV مدل G۷۲۲۰، جذب محلول در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۷ و۶۶۳ نانومتر قرائت شد، استون ۸۰ درصد نیز به‌عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری اسپکتروفتومتر استفاده شد (Lichtenthder, 1987). به‌منظور اندازه‌گیری زیست‌توده کل (عملکرد بیولوژیک) و عملکرد دانه، از هر کرت آزمایشی بوته‌های خطوط ۴ و ۵ کشت در سطحی معادل پنج مترمربع به‌صورت جداگانه کف‌بر شده و برداشت گردید. سپس با وزن کردن کل نمونه، عملکرد بیولوژیک تعیین شد. پس از آن دانه‌ها را از کاه و کلش جدا کرده و عملکرد دانه از مساحت برداشت شده محاسبه شد. در انتها از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به‌صورت درصد تعیین شد. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و میانگین‌ها به‌وسیله آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. برای رسم شکل‌ها از برنامه Excel استفاده گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical properties of soil

عمق Depth	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available K^+ ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی O.C (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
0-30	7.8	5.2	335	6.7	0.08	0.82	27	44	29

نتایج و بحث

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کود زیستی، کود شیمیایی و اثر برهم‌کنش دوگانه و سه‌گانه این تیمارها بر میزان کلروفیل کینوا معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۲).بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل a-۱) کمترین میزان کلروفیل کینوا (۱/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) تحت تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی و بیشترین آن (۴/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) و کاربرد توأم کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر به‌همراه کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی اوره و سوپرفسفات تریپل مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح خشکی، میزان کلروفیل کینوا در تمامی تیمارهای کودی کاهش یافت. با این وجود، در تمامی سطوح تنش خشکی و در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی، کاربرد توأم هر دو کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تأثیر را بر تعدیل اثرات تنش خشکی و افزایش معنی‌دار میزان کلرفیل گیاه کینوا داشته است (شکل a-۱). در بیان علت برتری تیمار ترکیب کودهای زیستی و شیمیایی می‌توان اظهار داشت که تأمین مناسب، کافی و تدریجی نیتروژن هم از طریق استفاده از کود نیتروژن و هم به‌واسطه حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در کودهای زیستی، احتمالاً باعث شده که گیاه کینوا، نیتروژن کافی جهت تولید کلروفیل در اختیار داشته باشد و سایر

عناصر مورد نیاز در فتوسنتز و سنتز کلروفیل نیز تا حدودی به‌واسطه استفاده از این کودها تأمین شود.

محققان بیان کردند اعمال تنش رطوبتی باعث کاهش رنگیزه‌های برگ کینوا شده و در نتیجه، کاهش میزان کلروفیل در این گیاه را به‌همراه داشته است (Fghire et al., 2015). گنزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2009) نیز گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، کاهش کلروفیل، از طریق کاهش تولید مواد فتوسنتزی سبب افت عملکرد دانه و زیست‌توده درگیاه کینوا شده است. علت کاهش میزان کلروفیل کینوا در اثر تنش خشکی، تخریب غشای تیلاکوئیدهای کلروپلاست، اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز عنوان شده است (Hinojosa et al., 2018). تأثیر کودهای شیمیایی بر افزایش میزان کلروفیل کینوا معنی‌دار گزارش شده است (Gomaa, 2013). بسرا و همکاران (Basra et al., 2014) در بیان علت افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل کینوا در اثر کاربرد کود شیمیایی نسبت به شاهد، گزارش کردند که نیتروژن برگ تحت تأثیر کود شیمیایی نیتروژن افزایش می‌یابد و این موضوع افزایش محتوای کلروفیل برگ را به‌همراه دارد. گزارش‌های این پژوهشگران یافته‌های مطالعه حاضر را تأیید می‌کند. از طرفی، گزارش شده است که کاربرد کودهای زیستی در ترکیب با کودهای شیمیایی موجب افزایش جذب عناصر غذایی مؤثر در ساخته شدن کلروفیل (نیتروژن، آهن و منیزیم) می‌شوند و از این طریق، افزایش محتوی کلروفیل برگ وکاهش اثرات تنش خشکی را به‌همراه دارند (Bahamin et al., 2019). به‌طور کلی، از دست رفتن کلروفیل در شرایط تنش خشکی و شوری می‌تواند جنبه سازگاری داشته باشد، زیرا با کم شدن کلروفیل، الکترون برانگیخته شده طی فتوسنتز کاهش یافته و به‌دنبال آن خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد نیز کاهش می‌یابد (Kranner et al., 2002). کاهش میزان کلروفیل، تحت شرایط تنش توأم شوری و خشکی در سایر گونه‌های خانواده اسفناجیان از جمله آتریپلکس (*Atriplex hortensis*) نیز گزارش شده است (Kachout et al., 2011).

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که به‌جز اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود شیمیایی، اثر تمامی تیمارها بر حداکثر شاخص سطح برگ کینوا معنی‌دار ($P\leq۰/۰۱$) بود (جدول ۲). بیشترین شاخص سطح برگ (۵/۱۸) تحت تیمار آبیاری کامل و تلفیق کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر به‌همراه مصرف اوره و سوپر فسفات تریپل و کمترین میزان شاخص سطح برگ (۲/۰۳) نیز در تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی مشاهده شد (شکل b-۱).

علت افزایش شاخص سطح برگ گیاه کینوا تحت تأثیر تیمار تلفیق کودهای زیستی و کود شیمیایی نیتروژن می‌تواند افزایش جذب این عنصر به‌دنبال افزایش تثبیت نیتروژن جوی باشد. زیرا به‌طور کلی، گزارش شده است که نیتروژن با اثرگذاری بر فرآیندهای تقسیم سلولی و ساخت کلروفیل باعث افزایش رشد رویشی، ارتفاع و تعداد شاخه‌های جانبی و در نهایت، منجر به افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ در گیاه می‌گردد. از طرفی، جذب بیشتر فسفر به‌واسطه فعالیت ریزجانداران (میکروارگانیسم‌های) موجود در کودهای زیستی نیز میزان فتوسنتز را افزایش می‌دهد که نتیجه آن افزایش تعداد و شاخص سطح برگ است (Bahamin et al., 2019). کوکازا و همکاران (Cocozza et al., 2012) دلیل کاهش عملکرد کینوا تحت تنش همزمان خشکی و شوری را کاهش سطح برگ، کاهش رشد و توسعه سلول‌ها و در نتیجه، کاهش فتوسنتز عنوان کردند. بنا به گزارش آن‌ها، کاهش مواد فتوسنتزی در اثر کاهش سطح برگ از یک سو و کاهش انتقال مواد پرورده به‌سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش اسمزی ناشی از کمبود آب و شوری خاک از سوی دیگر، سبب کاهش عملکرد دانه در کینوا شده است.

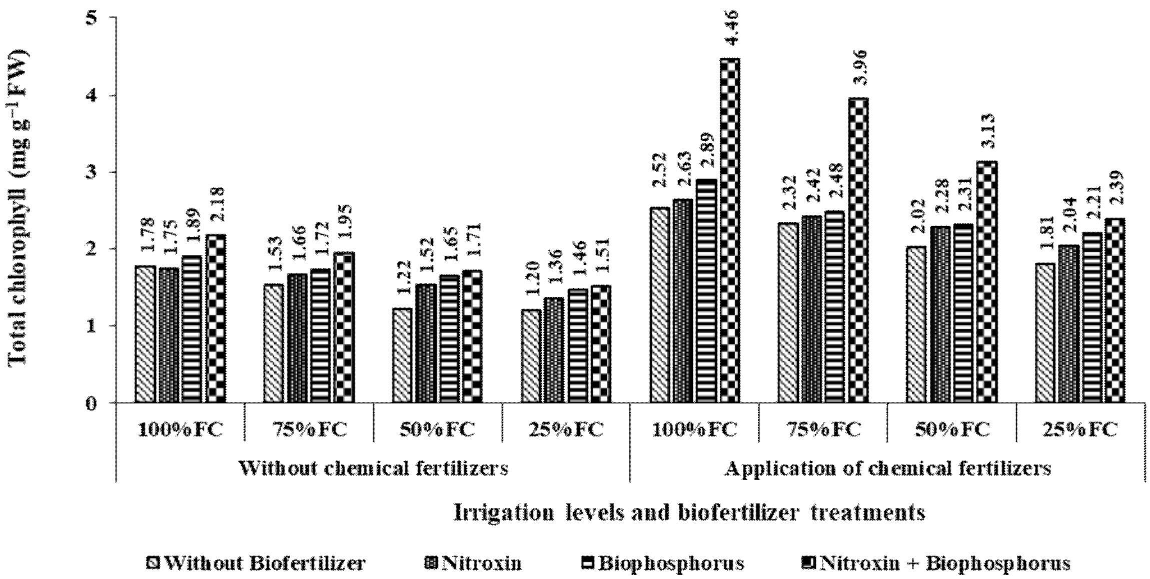
تأثیر منابع مختلف کود آلی بر افزایش شاخص سطح برگ کینوا معنی‌دار گزارش شده است (Bilalis et al., 2012). از طرفی، بررسی تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی بر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا نشان داد که کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به‌میزان توصیه شده برای خاک موجب افزایش معنی‌دار سطح برگ کینوا می‌شود (Basra et al., 2014). افزایش شاخص سطح برگ در تیمارهای کاربرد تلفیقی کودهای نیتروژن و فسفر در گیاهان زراعی از جمله گندم (*Triticum aestivum*) و ذرت (*Zea mays*) نیز به‌ترتیب توسط زاید و همکاران (Zayed et al., 2010) و واو و همکاران (Wu et al., 2005) گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مختلف کینوا در شرایط تنش خشکی و سطوح مختلف کودهای زیستی و شیمیایی

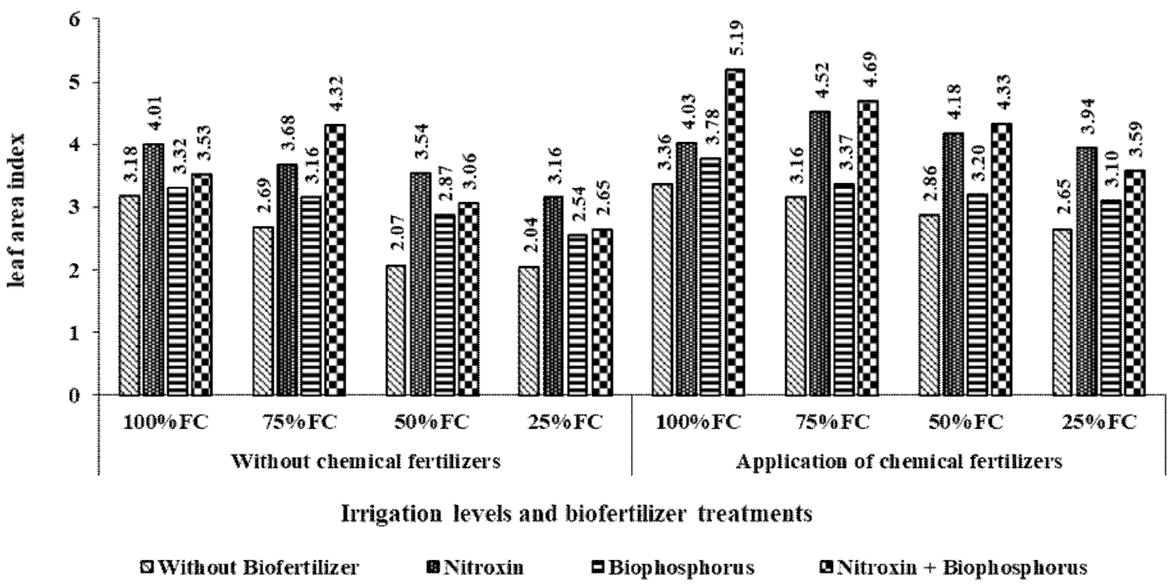
Table 2. Analysis of variance (mean of squares) for quinoa traits under drought stress conditions and levels of biological and chemical fertilizers

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل کل Total chlorophyll	شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد خوشه در مترمربع Number of panicles per m^2	تعداد دانه در خوشه Number of seeds per panicle	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	0.56^{**}	0.77^{**}	1474518.21^{**}	1378.81^{**}	0.80^{**}	146271.17^{*}	$18.79^{n.s}$
آبیاری Irrigation (a)	3	2.63^{**}	3.67^{**}	493280.59^{**}	1001.49^{**}	0.36^{**}	3037123.01^{**}	595.63^{**}
خطای کرت اصلی Main error a	6	0.07	0.13	9588.24	7.45	0.06	43496..22	11.55
کود زیستی Bio Fertilizer (b)	3	3.37^{**}	7.76^{**}	928256.59^{**}	1652.54^{**}	0.41^{**}	4021348.62^{**}	1124.66^{**}
کود شیمیایی Chemical Fertilizer (c)	1	23.34^{**}	9.67^{**}	1606578.76^{**}	2479.44^{**}	1.28^{**}	9193412.92^{**}	1074.34^{**}
a×b	9	0.21^{**}	0.27^{**}	37265.94^{*}	26.75^{*}	$0.02^{n.s}$	162947.76^{**}	47.46^{**}
a×c	3	0.27^{**}	$0.10^{n.s}$	$11002.02^{n.s}$	59.52^{**}	0.13^{**}	105544.35^{**}	185.52^{**}
b×c	3	1.16^{**}	0.52^{**}	60206.27^{**}	421.36^{**}	$0.02^{n.s}$	236181.16^{**}	155.55^{**}
a×b×c	9	0.12^{**}	0.22^{**}	$24089.22^{n.s}$	75.84^{**}	0.04^{*}	$56473.66^{n.s}$	$19.13^{n.s}$
خطای باقیمانده Sub error b× c	56	0.04	0.07	14233.28	10.07	0.01	32046.33	10.12
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.26	7.97	11.46	5.21	6.48	14.66	10.43

(a)



(a)



(b)

شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری، تیمارهای کود زیستی و تیمارهای کود شیمیایی بر کلروفیل کل (a) و شاخص سطح برگ کینوا (b)

Fig. 1- Mean comparisons for interaction effect of irrigation levels, biofertilizer treatments and chemical fertilizer treatments on total chlorophyll (a) and leaf area index (b) of quinoa

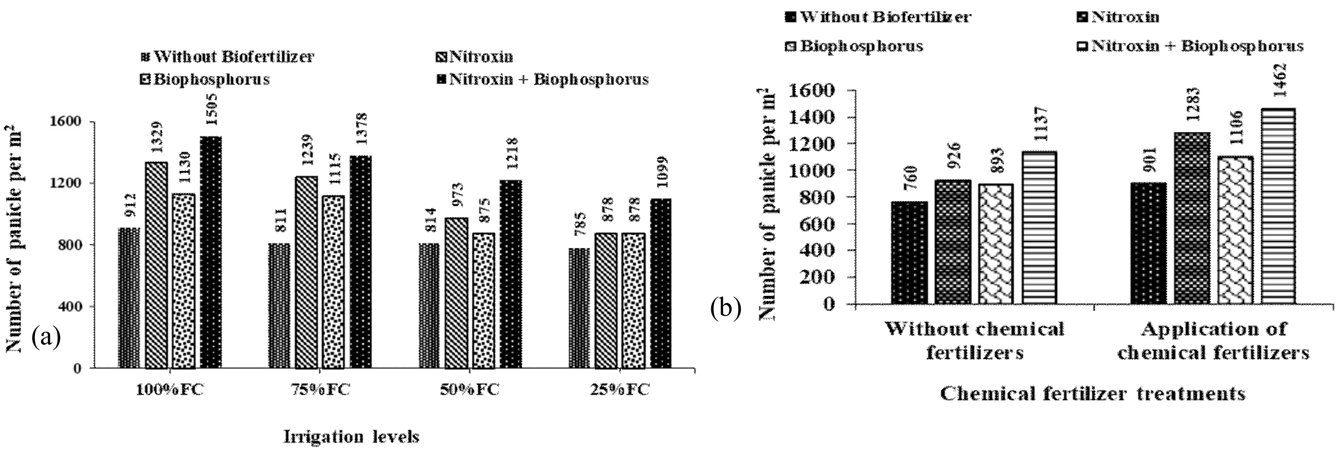
نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که در تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (تنش شدید خشکی)، تحت هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی، تیمار کاربرد کود زیستی نیتروکسن برای صفت شاخص سطح برگ کینوا در گروه بالاتر آماری

قرار گرفت (شکل b-۱). این یافته نشان می‌دهد که کود زیستی نیتروژنه بیشترین تأثیر را در تعدیل اثرات تنش شدید خشکی بر شاخص شطح برگ کینوا داشته است. در پژوهشی با بررسی تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن شامل ۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی اوره ۴۶ درصد نیتروژن، ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گاوی ۱/۲۴ درصد نیتروژن و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کمپوست علف دریا ۲-۱ درصد نیتروژن نشان داده شد که با وجود اینکه کاربرد هر یک از این منابع کودی باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ در کینوا نسبت به شاهد گردید، امّا اختلاف میان تیمارهای کودی با یکدیگر معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر، هر سه منبع کودی در پژوهش مذکور از نظر آماری شاخص سطح برگ کینوا را به‌میزان مشابهی افزایش دادند (Panayiota et al., 2014). گزارش شده است که کاربرد کود زیستی نیتروژن موجب بالارفتن تعداد و طول ساقه‌ها در گیاه کینوا شده و در پی آن تعداد برگ‌های موجود بر روی ساقه‌ها و در نهایت، شاخص سطح برگ کینوا افزایش یافته است (Geren, 2015).

تعداد خوشه در مترمربع

اثرات ساده سطوح آبیاری، کود زیستی، کود شیمیایی و همچنین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری در کود زیستی و اثر برهم‌کنش کود زیستی در کود شیمیایی بر تعداد خوشه در مترمربع معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۱$) شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری در کودهای زیستی نشان داد که در تمامی سطوح آبیاری، کاربرد همزمان هر دو کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تأثیر را در تعدیل اثرات تنش خشکی بر تعداد خوشه در مترمربع کینوا داشته است (شکل a-۲). در هر دو سطح کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی، کاربرد توأم کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تأثیر بر افزایش تعداد خوشه کینوا داشته است. بیشترین تعداد خوشه در مترمربع (۱۵۰۵/۱۳ خوشه) مربوط به تیمار آبیاری کامل و کاربرد توأم کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر و کمترین تعداد خوشه در مترمربع کینوا (۷۵۹/۷۰ خوشه) نیز مربوط به شاهد (بدون کود زیستی – بدون کود شیمیایی) بود (شکل b-۲). کاهش چشمگیر تعداد خوشه در واحد سطح، مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد دانه در گیاه کینوا تحت شرایط خشکی معرفی شده است (Hinojosa et al., 2018). کاهش تعداد خوشه در واحد سطح تحت تأثیر تنش کم‌آبی در گیاه کینوا، نوعی مکانیسم سازگاری معرفی شده است که در جهت تنظیم تعداد مقصدهای فیزیولوژیکی با میزان تولید مواد پرورده رخ می‌دهد (Gamez et al., 2019). این در حالی است که تأثیر سطوح متوسط تنش شوری بر تعداد خوشه در واحد سطح ارقام کینوا غیر معنی‌دار گزارش شده است (Kaoutar et al., 2017). از طرفی، مقایسه میانگین داده‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در تمامی سطوح آبیاری (شکل a-۲) و هر دو شرایط کاربرد یا عدم کاربرد کودهای شیمیایی (شکل b-۲)، تیمار کاربرد کود زیستی نیتروکسین برای صفت تعداد خوشه در مترمربع در رتبه دوم آماری قرار گرفت. این یافته حاکی از آن است که منابع کود نیتروژن مورد استفاده در پژوهش، بیشترین تأثیر را بر افزایش تعداد خوشه در کینوا داشته است.

گوما (Gomaa, 2013) با بررسی اثر کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژن و فسفر گزارش کرد که مصرف همزمان کود شیمیایی و کودهای زیستی به‌دلیل تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در طی دوره رشد و همچنین بهبود فرآیندهای فتوسنتزی، سبب افزایش تعداد خوشه در مترمربع در گیاه کینوا شده است. بسرا و همکاران (Basra et al., 2014) دلیل افزایش تعداد خوشه در واحد سطح کینوا در اثر کاربرد نیتروژن را به نقش این عنصر در انتقال مواد تولید شده در فتوسنتز از مبدأ (اندام‌های رویشی) به مقصد (اندام‌های زایشی) نسبت دادند. در نتیجه، پژوهشی دیگر گزارش شده که کود شیمیایی نیتروژن باعث فراهمی بیشتر مواد غذایی در طول دوره رشد در کینوا شده است و از این طریق باعث افزایش تعداد خوشه در واحد سطح این گیاه شده است (Geren, 2015). یافته‌های این پژوهشگران با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در شرایط کم‌آبی، جذب مواد و عناصر غذایی در گیاه کاهش می‌یابد و در نتیجه، رشد رویشی، تعداد اندام زایشی (تعداد خوشه)، تعداد دانه و در پی آن عملکرد نیز محدود می‌شود (Eppel et al., 2013). به‌طور کلی، گزارش شده است که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی، با مکانیسم‌های متعددی از جمله تثبیت نیتروژن، کمک به آزاد شدن عناصر غذایی در خاک، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، افزایش کارایی جذب ریشه و اثرات آنتاگونیستی بر ریزجانداران بیماری‌زا، موجب تعدیل تنش خشکی و کاهش اثرات منفی آن می‌شوند (Bahamin et al., 2019).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری و تیمارهای کود زیستی (a) و تیمارهای کود شیمیایی و کود زیستی (b) بر تعداد خوشه در مترمربع کینوا

Fig. 2- Mean comparisons for interaction effect of irrigation levels and biofertilizer treatments (a), chemical fertilizer and biofertilizer treatments (b) on number of panicle per m^2 of quinoa

تعداد دانه در خوشه

نتایج نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کود زیستی، کود شیمیایی و اثر برهم‌کنش سه‌گانه این تیمارها بر تعداد دانه در خوشه کینوا معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود (جدول ۲). در شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی تیمار کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروژن و فسفر در سطوح متوسط و شدید خشکی (تیمارهای آبیاری ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه)، بیشترین تأثیر را بر تعدیل اثرات خشکی بر تعداد دانه در خوشه کینوا داشته است. در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی نیز تلقیح بذور با کود زیستی بیوفسفر در تمام سطوح آبیاری توانست تعداد دانه در خوشه کینوا را به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها در همان سطح آبیاری (تنش خشکی) افزایش دهد. به نحوی که در شرایط عدم استفاده از کودهای شیمیایی، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر تحت تیمار تنش شدید خشکی، تعداد دانه در خوشه کینوا را در مقایسه با شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی در سطح تنش خشکی مشابه حدود ۶۸ درصد افزایش داد. در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی نیز، تیمار کاربرد کود زیستی بیوفسفر تحت شرایط تنش شدید خشکی، تعداد دانه در خوشه کینوا را حدود ۳۵ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی در همان سطح خشکی افزایش داد. در مجموع، نیز بیشترین تعداد دانه در خوشه (۸۶/۹۶ دانه)، تحت تیمار آبیاری کامل و تلقیح بذور با کود زیستی بیوفسفر به‌همراه مصرف کودهای شیمیایی حاصل شد. (شکل ۳-a).

دلایل تأثیر مثبت مصرف منابع مختلف فسفر بر افزایش تعداد دانه در خوشه کینوا، نقش فسفر در سنتز و رسوب ذخایر در دانه و انرژی ذخیره شده حاصل از فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات‌ها در باندهای فسفات معرفی شده است (Gomaa, 2013). کاهش عملکرد کینوا در اثر سطوح بالای تنش خشکی از کاهش تعداد خوشه و تعداد دانه در آن‌ها ناشی می‌شود و این موضوع با مرگ و میر دانه‌های گرده در اثر افزایش اسید آبسیسیک در ارتباط است (Hinojosa et al., 2018). کاهش تعداد دانه در خوشه کینوا تحت شرایط تنش کم‌آبی، به کاهش رشد زایشی، کاهش منابع قابل دسترس و نهایتاً کاهش تولیدات فتوسنتزی این گیاه در سطوح بالای خشکی نسبت داده شده است (Gamez et al., 2019). ریزجانداران موجود در کودهای زیستی نیتروژنه به‌واسطه تولید مواد محرک رشد از جمله ایندول استیک اسید باعث افزایش رشد در کینوا می‌شوند و از طریق افزایش حجم خاک اشغال شده، سطح جذب در

این گیاه را افزایش می‌دهند. این موضوع (افزایش سطح جذب در کینوا) منجر به تسهیل دریافت عناصر مورد نیاز برای فتوسنتز شده و افزایش تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه شده و مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی را به همراه دارد، وجود باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر نیز با توجه به نقشی که این عنصر در تحریک رشد زایشی و تشکیل دانه در گیاه ایفا می‌کند، باعث افزایش تعداد دانه در خوشه کینوا می‌گردند (Gomaa, 2013)
.

به‌طور کلی، گزارش شده است که پویایی فسفر در خاک کم است و زمانی‌که تنش خشکی ایجاد می‌شود، از پویایی این عنصر بیشتر کاسته شده و سرعت انتشار آن در خاک محدود می‌شود (James et al., 2008). کودهای زیستی از یک‌سو قادرند با ترشح هورمون‌های مختلف گیاهی، بر نفوذپذیری سلول‌های ریشه و رشد عمومی گیاه اثر بگذارند و از سوی دیگر، از طریق تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز باعث می‌شوند که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به‌فرم محلول در آید و برای ریشه قابل جذب گردد (Piromyou et al., 2011). به‌طور کلی، افزایش توان تولیدی بذر در اثر کاربرد کودهای زیستی، به نقش فسفر در افزایش تعداد دانه در گیاه نسبت داده شده است (Mohammadpour Vashvaei et al., 2017).

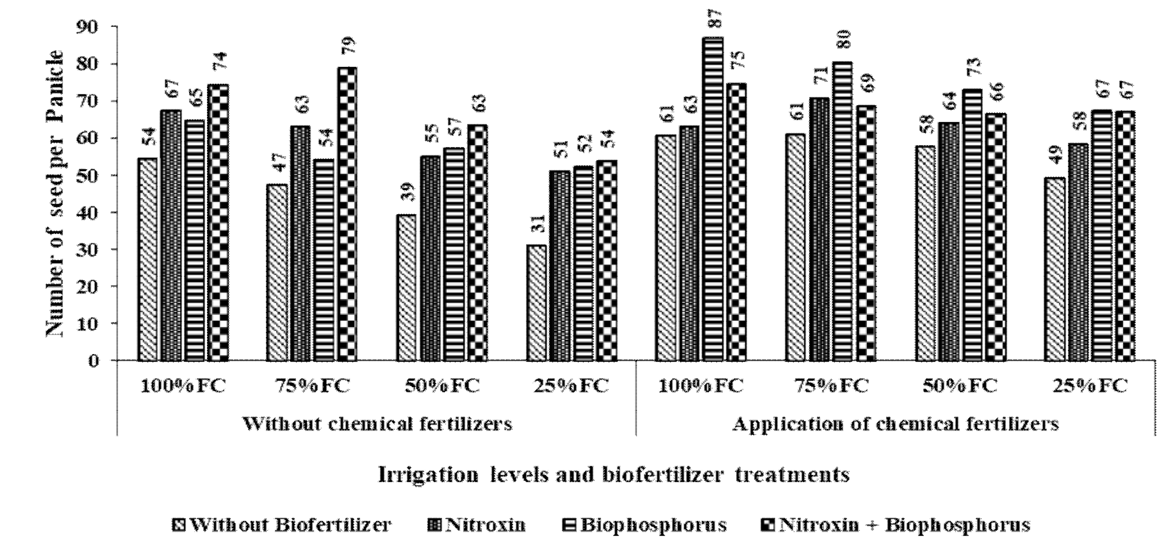
وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده سطوح آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی و اثر برهم‌کنش سه‌گانه این تیمارها بر وزن هزار دانه کینوا معنی‌دار (P≤۰/۰۵) شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی، بیشترین وزن هزار دانه (۱/۹۷ گرم) در تیمار آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به‌همراه کاربرد کود زیستی نیتروکسین حاصل شد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی بیشترین میزان وزن هزار دانه (۲/۴۱ گرم) در شرایط آبیاری کامل به‌همراه کاربرد بیوفسفر مشاهده شد. امّا نکته حائز اهمیت این بود که در تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه (تنش شدید خشکی)، تحت هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی، ابتدا تیمار کاربرد توأم کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر و پس از آن نیز تیمار تلقیح بذور فقط با بیوفسفر، بیشترین تأثیر را بر کاهش اثرات تنش خشکی بر وزن هزار دانه کینوا داشته‌اند (شکل ۳-b). که این موضوع بیانگر نقش مهم فسفر در شکل‌گیری دانه و مقاومت گیاه به شرایط تنش اسمزی است. گزارش شده است که تحت تنش خشکی شدید، وزن هزار دانه کینوا به‌دلیل کاهش فتوسنتز و عدم توزیع مناسب مواد ذخیره‌ای به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (Fghire et al., 2019). تأثیر کاربرد کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن را بر افزایش وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های کینوا معنی‌دار گزارش شده است (Basra et al., 2014). با مقایسه تأثیر کودهای نیتروژن و فسفر بر اجزای عملکرد گیاه کینوا نشان داده شد که از بین اجزای مختلف عملکرد در گیاه کینوا، وزن هزار دانه بیشترین تأثیر را از منابع مختلف کود فسفر (شیمیایی و زیستی) می‌پذیرد (Gomaa, 2013). گزارش شده است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه در شرایط تنش خشکی، به‌واسطه افزایش تولید هورمون‌های گیاهی به‌خصوص جیبرلین و سیتوکنین و تشدید فعالیت آنزیم‌هایی نظیر گلوتامات دهیدروژناز و گلوتأمین سینتتاز موجب تحریک تقسیم سلولی در اندام‌های گیاهی، و در نتیجه، افزایش رشد در گیاهان می‌شوند و از طریق افزایش ظرفیت مخزن در گیاه، شکل‌گیری دانه‌ها را بهبود می‌بخشند و اثرات خشکی را کاهش می‌دهند (Egamberdieva et al., 2017). افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در سیستم تغذیه تلفیقی (کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی) نسبت به سیستم کاربرد جداگانه هر یک از کودهای آلی و شیمیایی، به افزایش سطح برگ جهت تولید و انتقال ماده فتوسنتزی بیشتر به دانه و همچنین آزادسازی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر از کود آلی در مرحله پر شدن دانه تحت تأثیر سیستم‌های تغذیه تلفیقی نسبت داده شده است (Iqbal et al., 2019).

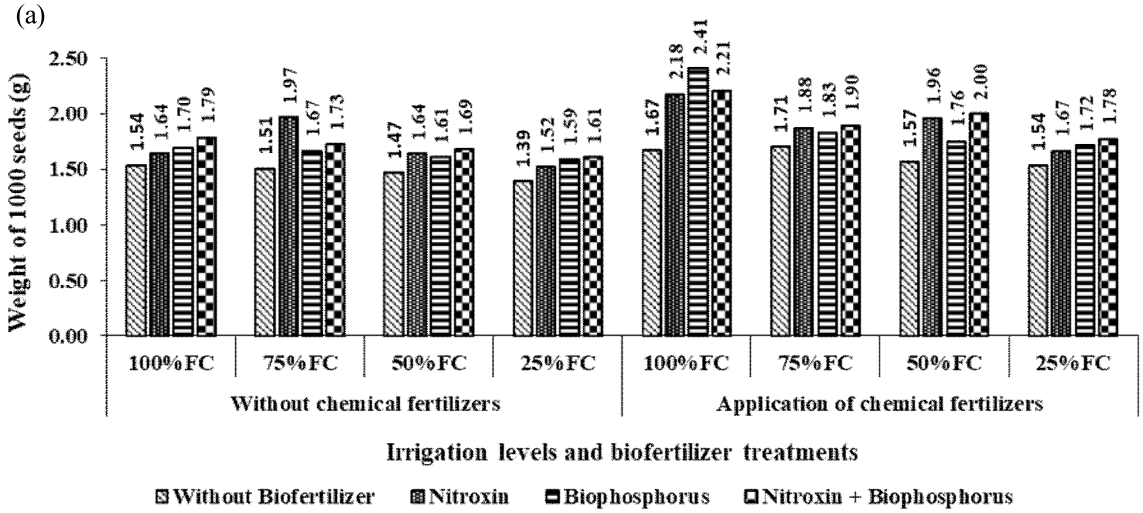
عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تمامی اثرات ساده و برهم‌کنش تیمارهای سطوح آبیاری، کود زیستی و کود شیمیایی (به‌جز اثر برهم‌کنش سه‌گانه این تیمارها) بر عملکرد دانه کینوا معنی‌دار (P≤۰/۰۱) شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که افزایش سطوح تنش خشکی عملکرد دانه در کینوا را تحت هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی کاهش داده است. با این وجود، حداکثر عملکرد دانه در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی نسبت به حداکثر عملکرد در شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی

۶۶/۲۵ درصد بیشتر بود (شکل a-۴).



(a)



(b)

شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری، تیمارهای کود زیستی و تیمارهای کود شیمیایی بر تعداد دانه در خوشه (a) و وزن هزار دانه کینوا (b)

Fig. 3- Mean comparisons for interaction effect of irrigation levels, biofertilizer treatments and chemical fertilizer treatments on number of seed per panicle (a) and weight of 1000 seeds (b) of quinoa

این در حالی است که کاربرد توأم کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تأثیر را بر افزایش معنی‌دار عملکرد کینوا در هر دو سطح کاربرد یا عدم کاربرد کودهای شیمیایی (شکل b-۴) و تمامی سطوح آبیاری (شکل c-۴) داشته است. به عبارت دیگر، تنش توأم خشکی و شوری عملکرد دانه کینوا را در همه سطوح کودی مورد بررسی کاهش داده است، امّا این کاهش در شرایط کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی نسبت به شرایط بدون کاربرد کود کمتر بوده است. گزارش شده است که تنش خشکی در کینوا موجب کاهش تعداد خوشه‌های بارور و کاهش وزن دانه‌های این گیاه شده و در نتیجه، کاهش عملکرد را به‌همراه داشته است (Fghire et al.,

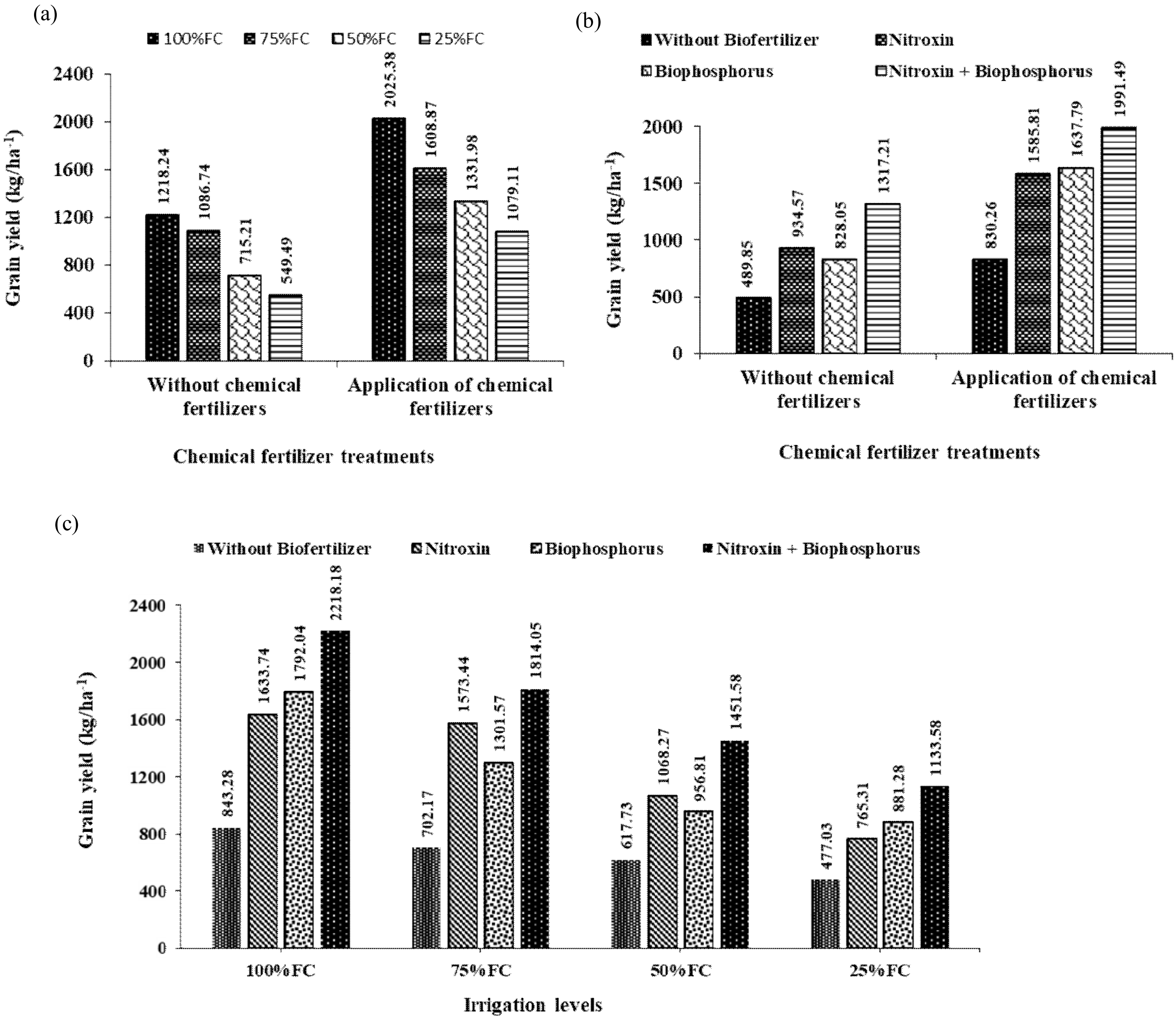
2015). تلاهیگو و همکاران (Telahigue et al., 2017) با بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر گیاه کینوا گزارش کردند کـه عملکـرد دانه در این گیاه تحت تنش خشکی شدید (تیمار آبیـاری ۳۰ درصـد ظرفیت زراعی مزرعه) به یک سوم میزان عملکرد در شـرایط آبیـاری کامل (بدون تنش) کاهش یافت. کوکازا و همکـاران (Cocozza et al., 2012) نیز کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کینوا را در اثر تنش توأم خشکی و شوری گزارش کردند. یافته‌های این پژوهشگران بـا نتـایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. کاهش عملکرد دانه کینوا تحت شـرایط تنش خشکی به کاهش فتوسنتز بـرگ و در نتیجـه، کـاهش میـزان آسیمیلات برای دانه‌های در حال رشد این گیاه نسبت داده شده است (Gamez et al., 2019). تأثیر کودهای شیمیایی بر افزایش عملکرد دانه کینوا معنی‌دار گزارش شـده اسـت (Geren, 2015). هـم‌چنـین گزارش شده است کـه بـاکتری‌هـای حـل‌کننـده فسـفات در حضـور کودهای شیمیایی حاوی فسفر، این عنصـر را بیشـتر و کارآمـدتر در اختیار کینوا قرار می‌دهند و با توجه به ارتباط مستقیم و مثبتی که بین جذب فسفر و نیتروژن وجود دارد، این باکتری‌ها می‌توانند بـه جـذب بیشتر فسفر و نیتروژن توسط کینوا کمک کنند (Gomaa, 2013). در پژوهش حاضر نیز به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای شیمیایی همراه با تلقیح بذور با کودهای بیولوژیکی باعث بهبود رشد و اجزای عملکرد دانه کینوا شده و از این طریق اثرات تنش اسمزی ناشی از خشـکی و شوری خاک را کاهش داده است. گـزارش شـده اسـت کـه مصــرف نیتـروژن موجب افزایش ساخت پروتئین، جـذب و سـاخت کــربن و انتقـال آن بـه مقاصد فیزیولوژیکی مـی‌شـود و با تأثیرگذاری بر تولید شیره پرورده، سطح برگ و حفظ شدت فتوسنتز به‌ویژه در مرحلـه پـر شــدن دانـــه‌هـا، بـــر عملکـــرد دانـــه گیاهـان زراعـی تـــأثیر مـی‌گـذارد (Perchlik., 2018). در مورد فسفر نیز گزارش شده کـه این عنصر نقش کلیدی در فتوسنتز و پرشدن دانه‌ها دارد و از ایـن رو سبب افزایش عملکرد دانه می‌شـود (Fabre et al., 2019). بـه‌طـور کلی، گزارش شده است که نیتروژن و فسفر به‌دلیل وظـایفی کـه در فرآیندهای حیاتی گیاه دارند، نقش اساسی در دسـتیابی بـه عملکـرد مناسب ایفا می‌کنند، به همین دلیل مصرف کودهای نیتروژنه و فسفره همراه با کود زیستی سبب افزایش در عملکرد دانـه و کـاهش اثـرات تنش‌های محیطی می‌شود (Stamenkovic et al., 2018).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس شاخص برداشت کینوا نشان داد که اثـرات ساده سطوح آبیاری، کود زیستی و کـود شـیمیایی همچـنین اثـرات برهم‌کنش سطوح آبیاری در کـود زیسـتی، سـطوح آبیـاری در کـود شیمیایی و کود زیستی در کود شیمیایی بر این صـفت معنـی‌دار شـد (P≤۰/۰۱) (جدول ۲). افزایش سطوح تنش خشکی در هر دو شـرایط کاربرد و عدم کـاربرد کودهـای شـیمیایی موجـب کـاهش شـاخص برداشت در کینوا شده است (شکل a-۵)، امّا کاربرد کودهای شیمیایی همراه با تمامی تیمارهای کود زیستی، شـاخص برداشـت را بـه‌طـور معنی‌داری نسبت به شاهد (عدم کاربرد کودهـای شـیمیایی- بـدون کود زیستی) افزایش داد (شـکل b-۵). همچـنین در تمـامی سـطوح خشکی، ابتدا تیمار کاربرد توأم کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر و پس از آن نیز تیمار تلقیح بذور تنها با نیتروکسین بیشترین تأثیر را بر افزایش شاخص برداشت کینوا و کاهش اثرات تنش خشکی بر این صفت داشته‌اند (شکل c-۵). شـاخص برداشـت نشـان‌دهنـده میـزان تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه می‌باشد. بنابراین، در توضیح علـت کاهش شاخص برداشت در پژوهش حاضر می‌توان اظهار کرد کـه در طول دوره رشد، به‌دلیـل کمبـود آب قابـل دسـترس ناشـی از تـنش اسمزی در اثر شرایط توأم خشکی و شوری در مزرعه، قـدرت انتقـال مواد پرورده به دانه کاهش یافته و منجر به افت عملکرد دانه و شاخص برداشت در کینوا شده است. کاهش تعداد خوشه در مترمربع، که سهم مهمی در تولید عملکرد کینوا دارد از دیگر دلایل مهم کاهش شاخص برداشت تحت شرایط تنش اسمزی به نظر می‌رسد. الناگار و همکاران (Al-Naggar et al., 2017) با بررسی تأثیر سطوح مختلف خشـکی بر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا گزارش کردند که تنش شدید خشکی در مرحله زایشی، بیشتر بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد تـا مـاده خشـک کل، در نتیجه، باعث کاهش شاخص برداشـت شـده اسـت. بـه‌طـور مشابهی علـــت کاهش شـــاخص برداشت در ارقام کینوا در مواجهه با تنش شوری، کاهش بیشتر عملکرد دانه نسـبت به وزن زیست تـوده گزارش شده است (Hinojosa et al., 2018) . در پژوهشی دیگر اثر منفی تنش خـشکی بـر عملکـرد دانه کینوا، به کاهش سـطح بـرگ وکاهش شاخص برداشت این گیاه تحت تأثیر سطوح بـالای خشـکی نسبت داده شده است (Gonzalez et al., 2009).

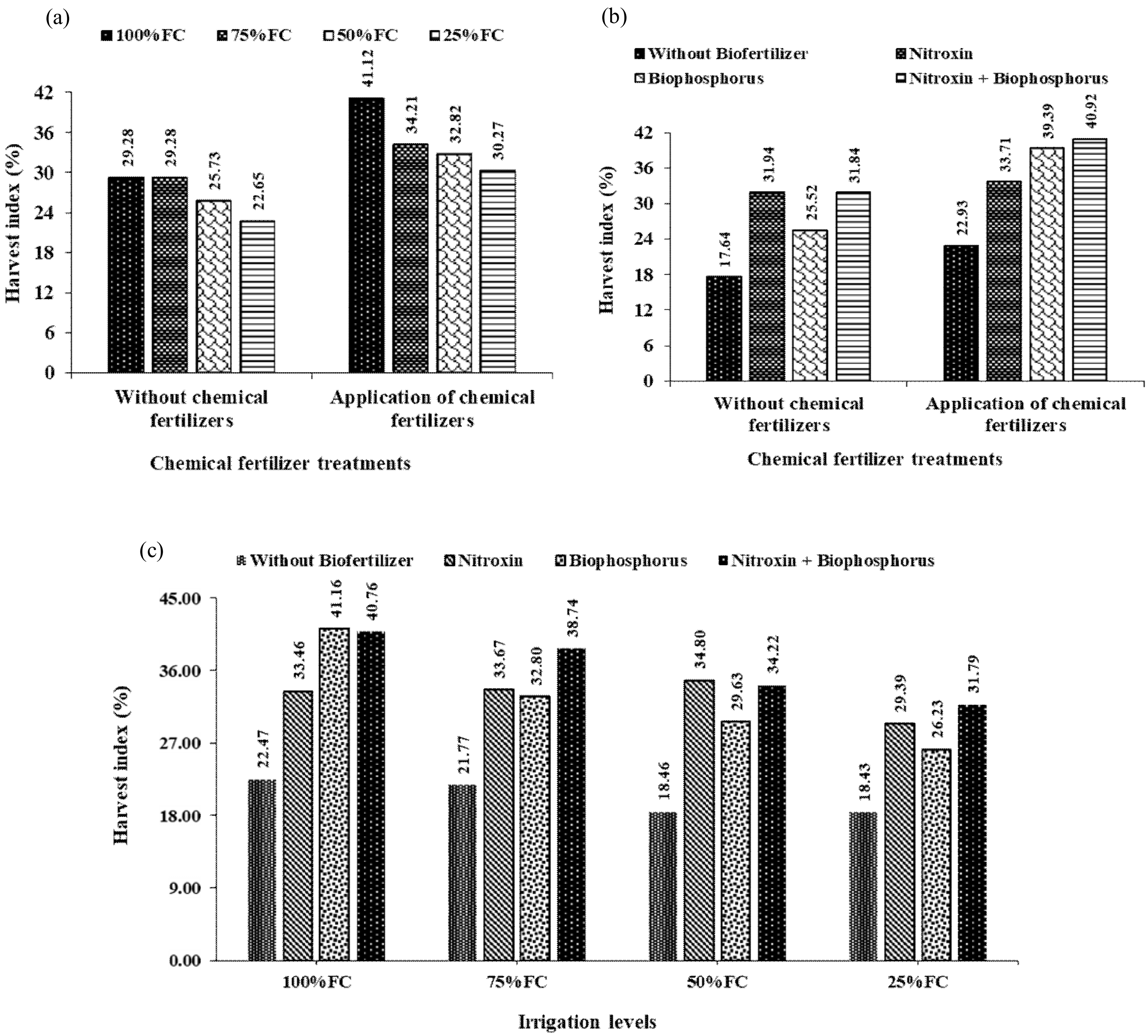
تنش توأم خشکی و شوری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانـه کینوا و در نتیجه، آن کاهش شاخص برداشت در این گیاه مـی‌شـود (Hinojosa et al., 2018). با این وجود، استفاده از کودهای زیستی

به‌عنوان مکمل به‌همراه کاربرد کودهای شیمیایی به‌میزان توصیه شده برای خاک، افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در گیاه کینوا را به‌همراه داشته است (Gomaa, 2013).



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری و تیمارهای کود شیمیایی (a)، تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی (b) و سطوح آبیاری و تیمارهای کود زیستی (c) بر عملکرد دانه کینوا

Fig. 4- Mean comparisons for interaction effect of irrigation levels and chemical fertilizer treatments (a), biofertilizer and chemical fertilizer treatments (b), irrigation levels and biofertilizer treatments (c) on grain yield of quinoa



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سطوح آبیاری و تیمارهای کود شیمیایی (a)، تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی (b) و سطوح آبیاری و تیمارهای کود زیستی (c) بر شاخص برداشت کینوا

Fig. 5- Mean comparisons for interaction effect of irrigation levels and chemical fertilizer treatments (a), biofertilizer and chemical fertilizer treatments (b), irrigation levels and biofertilizer treatments (c) on harvest index of quinoa

به‌طور کلی، گزارش شده است که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی از طریق تسهیل جذب عناصر غذایی و افزایش شاخص سطح برگ موجب استفاده بهتر گیاهان از تابش خورشیدی برای فتوسنتز می‌شود، در نتیجه، مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه ارسال می‌گردد که این موضوع (افزایش ارسال مواد فتوسنتزی به دانه)، افزایش نسبت دانه به ماده خشک و شاخص برداشت را در پی دارد (Rahimi et al., 2019). در پژوهش حاضر نیز به نظر می‌رسد که کاربرد توأم کودهای زیستی و شیمیایی از یک سو موجب بهبود اجزای عملکرد به‌ویژه تعداد خوشه و دانه کینوا شده و از سوی دیگر، با فراهمی بیشتر و بهتر عناصر غذایی در طول دوره پر شدن دانه،کاهش وزن دانه‌ها در اثر تنش توأم خشکی و شوری را تعدیل بخشیده است. این عوامل در مجموع، موجب کاهش معنی‌دار اثرات تنش توأم خشکی و شوری بر عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا تحت تأثیر تیمار تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه کینوا تاب‌آوری بالایی به شرایط تنش‌های شدید محیطی دارد. به‌نحوی که توانست در یک محیط شور، حتی تحت تنش خشکی شدید (تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) نیز دوره رشد خود را کامل کرده و تولید بذر کند. از طرفی، کاربرد کودهای شیمیایی در تمامی صفات اندازه‌گیری شده نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای شیمیایی برتری داشت. همچنین در تمامی سطوح تنش و در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد کودهای شیمیایی، کاربرد همزمان هر دو کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین تأثیر را بر تعدیل اثرات تنش خشکی و افزایش معنی‌دار تمامی صفات مورد بررسی داشتند.

از آنجایی که تیمار تلفیق کودهای شیمیایی و کودهای زیستی بیشترین تأثیر را بر افزایش عملکرد و کاهش اثرات تنش در کینوا داشت، می‌توان اظهار کرد که کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر، به‌تنهایی قادر به تأمین کامل عناصر غذایی مورد نیاز این گیاه نیستند، ولی اگر همراه با کودهای شیمیایی مورد نیاز، طبق نتایج آزمون خاک به‌کار روند، می‌توانند در بهبود عملکرد و افزایش تاب‌آوری کینوا به تنش‌های محیطی مؤثر واقع شوند. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش، کشت کینوا به‌عنوان گیاهی امیدبخش که تحمل بالایی به تنش‌های محیطی دارد و محصول تولیدی نیز از کیفیت بالایی برخوردار است، به‌همراه کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر و مصرف کودهای شیمیایی مورد نیاز مطابق نتایج آزمون خاک، در اراضی با حاصلخیزی کم و دارای محدودیت قابل توصیه است.

References

Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., and Shabala, S., 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany 92: 43–54.

Alizadeh, A., 2008. Soil, Water and Plant relationship. Emam Reza University of Mashhad, Iran. pp.484. (In Persian).

Al-Naggar, A.M.M., Abd El-Salam, R.M., Badran, A.E.E., and El-Moghazi, M.A., 2017. Drought tolerance of five Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes and its association with other traits under moderate and severe drought stress. Asian Journal of Advances in Agricultural Research 3(3): 2456-2468.

Bahamin, S., Koochek, A., Nassiri Mahallati, M., and Beheshti, A., 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences 12(1): 123-139. (In Persian with English Summary)

Basra, S.M.A., Iqbal, S., and Afzal, I., 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. International Journal of Agriculture and Biology 16: 886–892.

Bazile, D., Jacobsen, S.E., and Verniau, A., 2016., The global expansion of quinoa: Trends and limits. Frontiers in Plant Sciences 7: 622-631.

Biglouie, M.H., Assimi, M.H., and Jabbarzadeh, A.R., 2006. Effect of supplemental irrigation on yield and yield components of flue-cured tobacco. Iranian Journal of Field Crop Science 8(2): 184-200. (In Persian with English Summary)

Bilalis, D., Kakabouki, I., Karkanis A., Travlos, I., Triantafyllidis, V., and Hela, D., 2012 Seed and saponin production of organic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for different tillage and fertilization. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 40(1): 42-46.

Cocozza, C., Pulvento, C., Lavini, A., Riccardi, M., D'Andria, R., and Tognetti, R., 2012. Effects of increasing salinity stress and decreasing water availability on ecophysiological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) grown in a Mediterranean-type agroecosystem. Journal of Agronomy and Crop Science 199(4): 229–240.

Egamberdieva, D., Wirth, S.J., Alqarawi, A.A., Abd-Allah, E.F., and Hashem, A., 2017. Phytohormones and beneficial microbes: Essential components for plants to Balance stress and Fitness. Frontiers in Microbiology 8: 1-14.

Enebe, M.C., and Babalola, O.O., 2018. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy. Applied Microbiology and Biotechnolog 102(18): 7821–7835.

Eppel, A., Keren, N., Salomon, E., Volis, S., and Rachmilevitch, S., 2013. The response of *Hordeum spontaneum* desert ecotype to drought and excessive light intensity is characterized by induction of O_2 dependent photochemical activity and anthocyanin accumulation. Plant Science 201(202): 74–80.

Fabre, D., Yin, X., Dingkuhn, M., Clement-Vidal, A., Roques, S., Rouan, L., Soutiras, A., and Luquet, D., 2019. Role of triose phosphate utilization in photosynthetic response of rice to variable carbon dioxide levels and plant source-sink relations. BioRxiv 1-23.

Fghire, R., Anaya, F., Ali, O.I., Benlhabib, O., Ragab, R., and Wahbi, S., 2015. Physiological and photosynthetic response of quinoa to drought stress. Chilean Journal of Agricultural Research 75(2): 174–183.

Gamez, A.L., Soba, D., Zamarreño, A.M., García-Mina, J.M., Aranjuelo, I., and Morales, F., 2019. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. Plants 8(6): 173-188.

Garcia, M., Raes, D., and Jacobsen, S.E., 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa *(Chenopodium quinoa)* in the Bolivian highlands. Agricultural Water Management 60(2): 119–134.

Geren, H., 2015. Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. Turkish Journal of Field Crops 20(1): 59-64.

Gomaa, E.F., 2013 Effect of nitrogen, phosphorus and bio fertilizers on quinoa plant. Journal of Applied Sciences Research 9(8): 5210- 5222.

Gonzalez, J., Gallardo, M., Hillar, M., Rosa, M., and Prado, F., 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: Dry matter partitioning. Botanical Studies 50: 35-42.

Gordillo-Bastidas, E., Diaz-Rizzolo, D.A., Roura, E., Massanes, T., and Gomis, R., 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. Journal of Nutrition and Food Sciences 6(3): 1-10.

Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M.R., Pirzad, A., and Eini, O., 2015. Some morphophysiological characteristics of Mung Bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. Journal of Plant Nutrition 38(11): 1754-1767.

Hinojosa, L., Gonzalez, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F., and Murphy, K., 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. Plants 7(4):106-138.

Hossini, Y., Ramezani Moghaddam, J., Nikpour, M.R., and Abdoli, A., 2018. Evaluating water uptake functions under simultaneous salinity and water stress conditions in *Solanum lycopersicum*. Journal of Water Research in Agriculture 32(2): 247-265. (In Persian with English Summary)

Iqbal, S., Basra, S.M.A., Afzal, I., Wahid, A., Saddiq, M.S., Hafeez, M.B., and Jacobsen, S.E., 2018. Yield potential and salt tolerance of quinoa on salt-degraded soils of Pakistan. Journal of Agronomy and Crop Science 205(1): 1-9.

Iqbal, A., He, L., Khan, A., Wei, S., Akhtar, K., Ali, I., and Jiang, L., 2019. Organic manure coupled with inorganic Fertilizer: An approach for the sustainable production of Rice by improving soil properties and Nitrogen use efficiency. Journal of Agronomy 9(10): 651-671.

James, B., Rodel, D., Lorettu, U., Reynaldo, E., and Tariq, H., 2008. Effect of Vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna Spectabilis. Pakistan Journal of Botany 40(5): 2217-2224.

Kachout, S., Ben Mansoura, A., Jaffel Hamza, K., Leclerc, J.C., Rejeb, M.N., and Ouerghi, Z., 2011. Leaf–water relations and ion concentrations of the halophyte Atriplex hortensis in response to salinity and water stress. Acta Physiologia Plantarum 33: 335–342

Kaoutar, F., Abdelaziz, H., Ouafae, B., Redouane, C.A., and Ragab, R., 2017. Yield and dry matter simulation using the saltmed model for five quinoa (*Chenopodium quinoa*) accessions under deficit irrigation in South Morocco. Irrigation and Drainage 66(3): 340–350.

Khorshidi, Y.R., Ardakani, M.R., Ramezanpour, M.R., Khavazi, K., and Zargari, K., 2011 Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) to *Pseudomonas flouresence* and *Azospirillum lipoferum* under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 10(3): 387-395.

Kocabas, I., Kaplan, M., Kurkcuoglu, M., and Baser, K.H.C., 2010 Effects of different organic manure applications on the essential oil components of Turkish sage (*Salvia fruticosa*). Asian Journal of chemistry 22(2): 1599-1605.

Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Bakhshaei, S., and Davari, A., 2017. A meta analysis on nitrogen fertilizer experiments on cereal crops in Iran. Agroecology 9(2): 296-313.

Koyro, H.W., Lieth, H., and Eisa, S.S., 2008. Salt tolerance of *Chenopodium quinoa* willd. grains of the Andes: Influence

of salinity on biomass production, yield, composition of reziaves in the seeds, water and solute relations. Tasks for Vegetation Sciences 43: 133-145.

Kranner, I., Beckett, R.P., Wornik, S., Zorn, M., and Pfeifhofer, H.W., 2002. Revival of a resurrection plant correlates with its antioxidant status. The Plant Journal 31: 13-24.

Lichtenthder, H.K., 1987. Cholorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Enzymology 148: 350- 382.

Mohammadpour Vashvaei, R., Ramroudi, M., and Fakheri, B.A., 2017. Effects of drought stress and bio-fertilizer inoculation on quantitative and qualitative characteristics of marian thistle (*Silybum marianum* L.). Journal of Agroecology 9(1): 31-49.

Nasir Khan, M. Mobin, M., and Zahid, A., 2018. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences 225-240.

Panayiota, P., Kakabouki, I., Travlos, I., and Bilalis, D., 2014. Effect of fertilization on yield and quality of biomass of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and green amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 71(2):288-294

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., and Prasad, S.M., 2014. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. Environmental Science and Pollution Research 22(6): 4056–4075.

Perchlik, M., and Tegeder, M., 2018. Leaf amino acid supply affects photosynthetic and plant nitrogen use efficiency under nitrogen stress. Plant Physiology 178(1): 174-189.

Piromyou, P., Buranabanyat, B., Tantasawat, P., Tittabutr, P., Boonkerd, N., and Teaumroong, N., 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. European Journal of Soil Biolology 47: 44-54.

Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P., Mast, B. and Graeff-Honninger, S., 2018. Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. Agronomy 8: 197-216.

Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E., and d'Andria, R., 2012. Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. Journal of Agronomy and Crop Science 198(4): 254–263.

Rahimi, A., Moghaddam, S., Ghiyasi, M., Heydarzadeh, Ghazizadeh, S., and Popovic-Djordjevic., J., 2019. The influence of chemical, organic and biological fertilizers on agrobiological and antioxidant properties of Syrian cephalaria (*Cephalaria syriaca* L.). Agriculture: 9(6): 122-135.

Rajendran, K., and Devaraj, P., 2004 Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farmland. Biomass and Bioenergy 26: 235-249

Sabbagh, S.K., Poorabdollah, A., Sirousmehr, A., and Gholamalizadeh-Ahangar, A., 2017 Bio-fertilizers and systemic acquired resistance in *Fusarium* infected wheat. Journal of Agricultural Science and Technology 19: 453-464.

Stamenkovic, C., Beskoski, V., Karabegovic, I., Lazic, M., and Nikolic, N., 2018. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. Spanish Journal of Agricultural Research 16(1): 210-228.

Tavousi, M., and Lotf-Ali, G.A., 2018. Quinoa cultivation and related research results. Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Ahvaz, Iran. pp. 40. (In Persian)

Telahigue, D., Yahia, L.B., Aljane, F., Belhouchett, K. and Toumi, L., 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. Journal of Scientific Agriculture 1: 222-232.

Wu, S.C., Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., and Wong, M.H., 2005 Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. Geoderma 125: 155–166.

Zayed, B.A., Elkhoby, W.M., Salem, A.K., Ceesay, V., and Uphoff, N.T., 2013. Effect of integrated nitrogen fertilizer on wheat productivity and soil fertility under saline soil conditions. Journal of Plant Biology Research 2(1): 14-24.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.2, Summer 2021, p. 251-270

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۲۷۰-۲۵۱

The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on some Physiological and Yield Traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Drought Stress in Saline Soil

M. Amiryousefi[1], M. Tadayon[2*] and R. Ebrahimi[3]
Submitted: 08-11-2019
Accepted: 13-01-2020

Amiryousefi, M., Tadayon, M., and Ebrahimi, R., 2021. The effect of chemical and biological fertilizers on some physiological and yield traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress in saline soil. Journal of Agroecology 13(2):251-270.

Introduction

Considering prolonged drought condition in the country, water shortage, and water and soil salinity, some crop and current horticulture productions in the arid zone of the country face many constraints in terms of water supply for growth and yield loss. In this way, introducing new plants with high production yield is at the top of the agenda of the Iran Ministry of Agriculture to obtain high-quality production. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is an annual plant originated from Latin America. In addition to high nutrition value, this crop shows considerable resistance against a broad range of abiotic stresses such as drought, salinity and cold; and can be cultivated in marginal lands. Considering inability of most agricultural soils in the country to thoroughly supply nutrients for plants, chemical fertilizer consumption in Iran is much higher than the global average. Thus, in order to increase nutrient use efficiency, fertilizer utilization should change to render essential nutritious available for plants during a long time. Using bio-fertilizer dissolving phosphorus and nitrogen stabilizer is an optimal cultivation method, which improves adsorption of nutrition by plants and decreases soil salinity, and environmental contamination caused by indiscriminate use of chemical fertilizers.

Materials and Methods

In order to evaluate the chemical and bio-fertilizer effects on yield, yield component and some physiological properties of Quinoa under water deficit in saline soil, an experiment was conducted as split plot factorial layout based on the randomized complete block design with three replications in 2018-2019 crop season at Dastgerd area in Isfahan province. In this experiment four levels of irrigation (25, 50, 75 and 100 % of field capacity) as the main factor, and the combination of biofertilizer including control (without bio-fertilizer), Nitroxin, Biophosphorus and combination of Nitroxin, Biophosphorus and chemical fertilizer in two levels of no application and integrated application of nitrogen and phosphorus fertilizers as sub-factor were considered. The average amount of water used in treatments of 100, 75, 50 and 25% of field capacity was 4204.1, 3427.2, 2665.6 and 2828.8 m^3, respectively. Chemical fertilizer treatments (250 kg urea and 75 kg triple super phosphate fertilizer per hectare) were based on the results of soil test and fertilizer recommendation by the laboratory.

Results and Discussion

Results showed that in all fertilizer treatments with drought stress increment, measured physiological traits (total chlorophyll and leaf area index), and seed yield component including the number of clusters per square meter, seed number in cluster and seed thousand weight decreased, and consequently seed yield and Quinoa harvest index decreased. Under severe drought stress (25% field capacity irrigation treatment), grain yield and harvest index decreased by about 76 and 22%, respectively, compared to non-stress conditions (100% field capacity irrigation treatment). However, in all stress levels and both application and non-application of chemical fertilizers, simultaneous inoculation with both Nitroxin, Biophosphorus bio-fertilizers made the largest contribution to decreased stress influences and significantly increased all traits studied. The nitrogen fertilizer

1- Ph.D. Student of Crop Physiology, Shahrekord University, Iran.
2- Associate Professor of Agronomy Department, Shahrekord University, Iran.
3- Professor of Mechanical Engineering of Biosystems Department, Shahrekord University, Iran.
(*Corresponding Author Email: mrtadayon@yahoo.com)
Doi: 10.22067/jag.v13i2.79212

resources had the most effect on decreasing osmotic stress consequence in chlorophyll content, leaf area index and spike number per square meter. Therefore, since spike number is the main part of seed yield, it could be stated that nitrogen fertilizer applied in this experiment had the largest contribution to increase of seed yield. Phosphorus fertilizer resources available in this study also showed the highest influence to decrease in stress effects of 1000-seed weight. This could be attributed to nitrogen influence on vegetative growth and physiological role of phosphorus to generate flower and seed production.

Conclusion

Our results revealed that despite soil salinity of surveyed area, Quinoa can complete growth period even in a 25% level of field capacity (severe drought stress) and produce seeds. This highlights the high resistance of Quinoa to severe environmental stress conditions.

Keywords: Biophosphorus, Chenopodiaceae, Leaf Area Index, Nitroxin, Osmotic Stress